

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
7. November 2002 (07.11.2002)

PCT

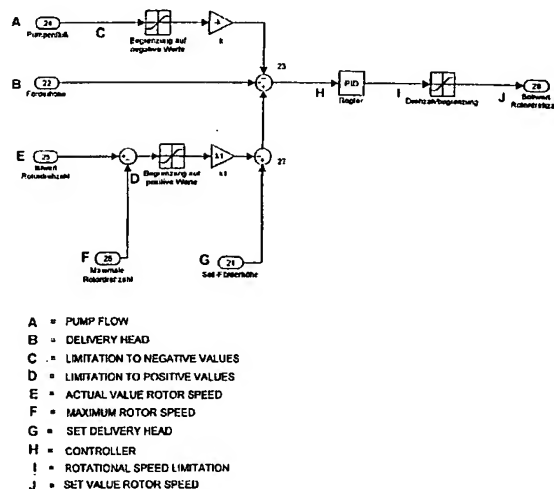
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/088547 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **F04D** (72) Erfinder; und  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/04688 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): NÜSSER, Peter [DE/DE]; Wustrower Strasse 23, 13051 Berlin (DE). MÜLLER, Johannes [DE/DE]; Güntzelstrasse 63, 10717 Berlin (DE). DEUS, Frank [DE/DE]; Öselerstrasse 28, 12683 Berlin (DE). GÖTTEL, Peter [DE/DE]; Schröderstrasse 12/1, 10115 Berlin (DE). HOFFMANN, Jan [DE/DE]; Ostpreussendamm 65, 12207 Berlin (DE). GRAICHEN, Kurt [DE/DE]; Boyenstrasse 44, 10115 Berlin (DE). ARNDT, Andreas [DE/DE]; Arndtstrasse 98, 12489 Berlin (DE). MERKEL, Tobias [DE/DE]; Meiereifeld 14, 14532 Kleinmachnow (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 26. April 2002 (26.04.2002)  
(25) Einreichungssprache: Deutsch  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch  
(30) Angaben zur Priorität: 101 23 139.3 30. April 2001 (30.04.2001) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): BERLIN HEART AG [DE/DE]; Wiesenweg 10, 12247 Berlin (DE).  
(74) Anwälte: GULDE, Klaus, W. usw.; Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider, Schützenstrasse 15 - 17, 10117 Berlin (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING AN ASSIST PUMP FOR FLUID DELIVERY SYSTEMS WITH PULSATILE PRESSURE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG EINER UNTERSTÜTZUNGSPUMPE FÜR FLUIDFÖRDERSYSTEME MIT PULSATILEM DRUCK



(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling an assist pump for fluid delivery systems with pulsatile pressure. If, for example, a heart-assist pump is operated with a constant rotational speed, the blood is continually delivered through the assist pump even when the cardiac chamber is in the decontraction phase. The inventive method ensures that an assist pump functions in an assisting manner only during the pressure phase of the main pump by constantly determining the pressure difference between the inlet and delivery side of the assist pump and by constantly determining the rate of flow through the assist pump. The rotational speed of the assist pump is controlled as to prevent the determined pressure difference from falling below a predeterminable value and to prevent the rate of flow from falling below zero.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/088547 A2



(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), curasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Verfahren zur Regelung einer Unterstützungspumpe für Fluidfördersysteme mit pulsatilem Druck. Wird beispielsweise eine Herzunterstützungspumpe mit konstanter Drehzahl betrieben, kommt es dazu, dass das Blut durch die Unterstützungspumpe weiter gefördert wird, auch wenn die Herzkammer sich in der Dekontraktionsphase befindet. Mit dem vorliegenden Verfahren wird erreicht, dass eine Unterstützungspumpe nur in Druckphase der Hauptpumpe unterstützend wirkt, indem ständig die Druckdifferenz zwischen Ein- und Ausgangsseite der Unterstützungspumpe sowie die Durchflussmenge durch die Unterstützungspumpe ermittelt werden und die Drehzahl der Unterstützungspumpe so geregelt wird, dass die ermittelte Druckdifferenz nicht unter einen vorbestimmbaren Wert fällt und die Durchflussmenge nicht unter null sinkt.

---

**„Verfahren zur Regelung einer Unterstützungspumpe für  
Fluidfördersysteme mit pulsatilem Druck“**

---

**Beschreibung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Unterstützungspumpe für Fluidfördersysteme mit pulsatilem Druck.

Es ist bekannt, zur Unterstützung von pulsatil arbeitenden Pumpen in einem Fluidfördersystem weitere Pumpen anzuordnen. Derartige Unterstützungspumpen werden üblicherweise mit konstanter Drehzahl angetrieben. Entsprechend der Differenzdruck/Volumenstrom-Kennlinie der Unterstützungspumpe reagiert diese bei Erhöhung des Eingangsdruckes und der damit verbundenen Änderung der Förderhöhe (Differenz vom Eingangs- zum Ausgangsdruck) mit einer Erhöhung des Volumenstromes und umgekehrt. Der Volumenstrom durch die Unterstützungspumpe sinkt jedoch auch in der Niedrigdruckphase, also bei abgesenktem Eingangsdruck, nicht auf null.

Je steiler die Differenzdruck/Volumenstrom-Kennlinie der Pumpe ist, desto höher ist der verbleibende Volumenstrom in dieser Phase. Das kann dazu führen, dass der Volumenstrom abreißt und das vor der Unterstützungspumpe liegende Fördersystem einschließlich der Hauptpumpe mit Unterdruck beaufschlagt wird, was zu verschiedenen Nachteilen führen

kann. Z. B. kann das nachfließende Fluid beim Einfließen in die Pumpenkammer der Hauptpumpe stark verwirbelt werden.

Ein besonders empfindliches Fluidfördersystem stellt der Blutkreislauf dar. Blut zirkuliert, angetrieben durch rhythmische Kontraktionen des Herzens, in einem geschlossenen Gefäßsystem. Bei Störungen der Funktion des Herzens werden in jüngster Zeit Kreislaufunterstützungspumpen eingesetzt, die einen noch vorhandenen Puls des Herzens unterstützen sollen. Das Blut wird aus der linken Herzkammer unter Umgehung der Herzklappe in die Unterstützungspumpe und von dort aus in die Aorta geleitet. Derartige Unterstützungspumpen können sowohl nach dem Verdrängerprinzip als pulsatile Pumpen oder auch dem Turboprinzip als radiale oder axiale Strömungsmaschinen ausgeführt werden. Pulsatile Pumpen nach dem Verdrängerprinzip haben sich wegen des nötigen Aufwandes zur Synchronisierung mit dem Herzschlag nicht bewährt. Bei den Pumpen, die nach dem Turboprinzip arbeiten, werden die axialen Pumpen wegen ihrer geringeren Abmessungen bevorzugt.

Die bekannten axialen Blutpumpen bestehen im wesentlichen aus einem äußeren zylindrischen Rohr, in dem ein Förderteil, das als Rotor eines außen anliegenden Motorstators ausgebildet ist, rotiert und das Blut in axialer Richtung bewegt. Ebenfalls bekannt ist es, den Rotor berührungsfrei magnetisch zu lagern. Eine derartige Unterstützungspumpe ist aus WO 00/640 30 bekannt.

Wird eine solche Unterstützungspumpe mit konstanter Drehzahl betrieben, kommt es aufgrund der oben beschriebenen Zusammenhänge dazu, dass das Blut durch die Unterstützungspumpe weiter gefördert wird, auch wenn die Herzkammer sich in der Dekontraktionsphase befindet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem der Volumenstrom einer Unterstützungspumpe auf einfacher Weise nur in der Druckphase der Hauptpumpe unterstützend wirkt.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Zweckmäßige Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Danach werden ständig die Druckdifferenz zwischen Ein- und Ausgangsseite der Unterstützungspumpe sowie die Durchflussmenge durch die Unterstützungspumpe ermittelt. Die Drehzahl der Unterstützungspumpe wird so geregelt, dass die ermittelte Druckdifferenz nicht unter einen vorbestimmbaren Wert fällt und die Durchflussmenge nicht unter null sinkt.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird als Unterstützungspumpe eine Axialpumpe mit elektronisch kommutiertem Synchronmotor und permanentmagnetischer Lagerung und Steuerspulen zur magnetischen Lageregelung des Rotors benutzt und die Druckdifferenz zwischen Ein- und Ausgangsseite der Unterstützungspumpe ermittelt, indem aus dem Steuerstrom der Steuerspulen und der aktuellen Rotorposition, die als Werte der Lageregelung vorliegen, die der Druckdifferenz proportionale Störkraft auf den Rotor bestimmt wird. Gleichzeitig lässt sich die Durchflussmenge durch die Unterstützungspumpe anhand der aktuellen Drehzahl und der Druckdifferenz aus dem zuvor gemessenen Differenzdruck/Volumenstrom-Kennfeld der Unterstützungspumpe ermitteln. Auf diese Weise werden keinerlei separate Sensoren für Druck und Durchfluss benötigt.

Die Erfindung soll nachstehend anhand einer Kreislaufunterstützungspumpe als Ausführungsbeispiel für das Verfahren näher erläutert werden. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 ein Kennfeld einer Axialpumpe,

Fig. 2 eine für die Durchführung des Verfahrens geeignete Herzunterstützungspumpe,

Fig. 3 ein Schema eines Beispiels für die erfindungsgemäße Regelung,

Fig. 4 den Druckverlauf an der Herzunterstützungspumpe,

Fig. 5 den Förderhöhe- und Volumenstromverlauf an der Herzunterstützungspumpe,

Fig. 6 den Drehzahlverlauf der Herzunterstützungspumpe,

Fig. 7 dagegen den Förderhöhe- und Volumenstromverlauf und

Fig. 8 den Druckverlauf an einer Herzunterstützungspumpe beim Betrieb mit konstanter Drehzahl.

Fig. 1 zeigt ein Kennfeld einer Blutpumpe mit axialer Strömung. Die Kennlinien zeigen jeweils die Abhängigkeit des Drucksprungs der Pumpe (Förderhöhe) vom geförderten Volumen pro Zeiteinheit bei einer bestimmten Drehzahl. Bei einem Betrieb mit konstanter Drehzahl bewegt sich der Arbeitspunkt der Pumpe also entlang einer Kennlinie.

Das Ausmaß der Flussänderung bei gegebener Druckdifferenzänderung hängt von der Steilheit der Kennlinie ab. Um diesen Wert scheinbar zu verändern, muss die Drehzahl der Pumpe in Abhängigkeit von der momentanen

Förderhöhe verändert werden. Der Arbeitspunkt bewegt sich jetzt nicht mehr längs einer Linie konstanter Drehzahl, sondern wandert zwischen Linien unterschiedlicher Drehzahl. Die Drehzahl ist dabei der zu beeinflussende Parameter. Soll eine gegebene Vergrößerung der Förderhöhe eine größere Verringerung des Flusses verursachen als durch die natürliche Pumpenkennlinie vorgegeben, dann muss die Rotordrehzahl bei steigender Förderhöhe abgesenkt und bei fallender Förderhöhe angehoben werden. Daraus resultiert eine Wanderung im Kennfeld und somit eine scheinbare Verringerung der Steilheit der Pumpenkennlinie.

Für ein natürliches Blutkreislaufsystem gilt außerdem die Bedingung, dass das Blut während der diastolischen Phase nicht wieder an das Herz zurückfließen soll. Bei einem intakten Kreislaufsystem übernimmt diese Funktion eine Herzklappe. Die Blutpumpe muss deshalb auch die Funktion der Herzklappe nachbilden. Für die erfindungsgemäße Regelung müssen deshalb die Förderhöhe und der Volumenstrom bekannt sein. Diese können mit einer geeigneten Sensorik ermittelt werden. Sie können jedoch bei geschickter Wahl einer bestimmten Pumpenart auch aus Regeldaten des Pumpenantriebes selbst gewonnen werden.

Fig. 2 zeigt eine solche zur Durchführung des Verfahrens geeignete axiale Blutunterstützungsumpe. Der Antrieb der Blutunterstützungspumpe arbeitet nach dem Prinzip eines elektronisch kommutierten Synchronmotors. Der Motor hat einen Stator, bestehend aus einem Blechpaket 31, Wicklungen 33 und Eisenrückschlußkappen 2, 2a, und einen Rotor 5 mit permanentmagnetischem Kern 32. Der Stator umschließt einen rohrförmigen Hohlkörper 1, in dem in axialer Richtung ein Fluid, im vorliegenden Falle also Blut, gefördert wird. Der Rotor 5 ist berührungsfrei magnetisch gelagert.

Das magnetische Lager besteht aus Permanentmagneten 42, 42a an den Rotorstirnseiten und Permanentmagneten 41, 41a an den Stirnseiten von Leiteinrichtungen 6 und 7. Die Leiteinrichtungen 6, 7 sind an der Innenwand des rohrförmigen Hohlkörpers 1 befestigt.

Zum magnetischen Lager gehören außerdem Steuerspulen 12, 12a. Zur Messung der aktuellen Rotorposition dienen Sensorspulen 43, 43a in den Leiteinrichtungen 6, 7 und diesen gegenüberliegende Kurzschlußringe 80, 80a.

Die Paare der Permanentmagneten 41, 42; 41a, 42a sind jeweils auf Anziehung gepolt. Magnetisch liegen die Paare in Reihe.

Ohne eine zusätzliche Stabilisierung würde der Rotor 5 zu einer Seite hin angezogen werden, es besteht in axialer Richtung ein instabiles Gleichgewicht. In radialer Richtung wirken beide Magnetpaare zentrierend, die radiale Lage ist somit passiv stabil.

Die Steuerspulen 12, 12a sind elektrisch in Reihe geschaltet und magnetisch so angeordnet, dass ein Strom das Magnetfeld des einen Magnetpaares schwächt und das des anderen verstärkt. Der magnetische Rückschluss geschieht über die Eisenrückschlußkappen 2, 2a und das Blechpaket 31 des Stators.

Die axiale Position des Rotors 5 kann mit Hilfe der Sensorspulen 43, 43a ermittelt werden. Die Sensorspulen 43, 43a werden mit einer höherfrequenten Spannung beaufschlagt. Bei axialer Bewegung des Rotors 5 kommt es zu einer gegenseitigen Verstimmung der Sensorspulen 43, 43a. Durch Anordnung der Sensorspulen 43, 43a in einer



Brückenschaltung lässt sich ein Messsignal für die axiale Position des Rotors 5 gewinnen.

Die axiale Stabilisierung erfolgt über einen Regelkreis. Die gemessene Rotorposition ist das Eingangssignal des Reglers. Dessen Ausgangssignal, der Stellstrom, wird in die Steuerspulen 12, 12a eingespeist. Auf diese Weise lässt sich die Position des Rotors 5 zwischen den beiden Endanschlüssen regeln. Die Regelung wird dann stromlos, wenn die Summe aller magnetischen und mechanischen Kräfte null ist. Bei unbelastetem Motor ist dies in der Mittellage der Fall. Dort ist der Steuerstrom praktisch unendlich klein. Wenn der Rotor 5 axial belastet wird, muss er der angreifenden Kraft entgegen verschoben werden, bis die dann asymmetrischen Kräfte der Permanentmagneten 41, 42; 41a, 42a die Störkraft kompensieren. An diesem Punkt ist der Steuerstrom wieder unendlich klein.

Der Regler ist als PID-Regler mit  $I_2$ -Anteil zur Nullstromregelung ausgeführt. Der Regler kann sprunghafte Störungen nahezu ohne Überspringen ausregeln. Die Nullpunktsuche ist schnell genug, um bei der anwendungsspezifischen Störfrequenz die Steuerstromaufnahme nahe null zu halten.

Das Messsignal wird aus einer Brückenschaltung der Sensorspulen 43, 43a gewonnen. Die Messung wird allerdings durch die Regelung des Steuerspulenstromes und des Motorstromes erschwert. Mit einem Ausblendverfahren werden Messungen deshalb nur zu störfreien Zeiten zwischen den Schaltimpulsen vorgenommen. Während der Schaltimpulsdauer wird der letzte Messwert vor dem Ausblenden gespeichert.

Die axiale Stabilisierung des magnetisch gelagerten Rotors 5 gestattet die Schätzung der auf den Rotor 5 wirkenden

Störkraft. Die Summe der auf den Rotor 5 wirkenden Kräfte muss zu jedem Zeitpunkt gleich null sein. Kräfte des Permanentmagnetsystems, Kräfte des Elektromagnetsystems und mechanische Kräfte, insbesondere Druckkräfte, sowie Reibungs-, Dämpfungs- und Beschleunigungskräfte müssen einander aufheben. Unter der Voraussetzung, dass die Frequenzen der zu erfassenden Störkräfte gering im Vergleich zur Grenzfrequenz des Stabilisierungsregelkreises sind, können die Dämpfungs- und Beschleunigungskräfte für die Berechnung vernachlässigt werden. Somit errechnet sich die Störkraft wie folgt:

$$\text{Störkraft} = \text{Steuerstrom} \times \text{elektrische Empfindlichkeit} - \text{Rotorposition} \times \text{Axialsteifigkeit}.$$

Die elektromagnetische Empfindlichkeit ist eine von dem magnetischen Kreis abhängige Konstante. Die Axialsteifigkeit ist ein Ausdruck für die Kraft, die nötig ist, um den Rotor 5 um einen bestimmten Weg axial zu verschieben und ist in dem hier interessierenden Bereich (Rotorspalt ca. 0,5 bis 2,5 mm) ebenfalls konstant.

Mit der Störkraft steht ein Wert für den proportionalen Drucksprung der Unterstützungspumpe zur Verfügung, der sich als dynamisches Signal für die Regelung der Drehzahl nutzen lässt. Gleichzeitig lässt sich mit Hilfe der Druckdifferenz und der Pumpendrehzahl bei bekannter Pumpenkennlinie der Volumenstrom berechnen.

Durch die Wahl einer speziellen Blutpumpe und die geschickte Verwertung der von der Rotorlageregelung her bekannten Daten gelingt es so, auf Sensoren für Druck und Durchfluss völlig zu verzichten.

Die hier gezeigte Blutpumpe ist auch aus anderen Gründen für die erfindungsgemäße Regelung besonders geeignet. Der sensorlos kommutierte Synchronmotor gestattet eine hohe Winkelbeschleunigung des Pumpenrotors. Diese Beschleunigung und die damit verbundenen Axial- und Radialkräfte auf den Rotor 5 werden von der magnetischen Lagerung toleriert. Der nutzbare Drehzahlbereich wird nicht von Resonanzfrequenzen der radialen Rotoraufhängung begrenzt. Resonanzen bleiben immer gedämpft. Folglich ist eine Drehzahlvariation von minimaler Drehzahl bis maximaler Drehzahl in einer Zeit von ca. 50 ms möglich. Zwischen der Zeitfunktion der Rotordrehzahl und der des Pumpenflusses sind keine Verzögerungszeiten erkennbar.

Fig. 3 zeigt ein Beispiel für einen möglichen Regelkreis für die Drehzahlregelung. Die Soll-Förderhöhe der Unterstützungspumpe wird am Zweig 21 eingegeben. Sie richtet sich danach, welcher natürliche Druck durch das Herz noch erzeugt werden kann und wieviel zusätzlicher Druck dementsprechend von der Unterstützungspumpe aufgebracht werden soll. Die wie zuvor beschrieben ermittelte Druckdifferenz zwischen Ein- und Ausgangsseite der Unterstützungspumpe wird als nötige Förderhöhe am Zweig 22 zu einem Soll-Ist-Vergleich an einen Vergleicher 23 eingegeben. Hieraus ergibt sich die Regelabweichung, die von einem PID-Regler mit nachfolgendem Begrenzer für den Stellwert der Drehzahl ausgeregelt wird. Dieser Stellwert wird von der Motorsteuerung in eine entsprechende Drehzahl umgesetzt.

Die Fig. 4 bis 6 zeigen die Zeitverläufe von charakteristischen Daten in der systolischen und diastolischen Phase. Die Unterstützungspumpe befindet sich zwischen einer Ausleitung aus der linken Herzkammer (Ventrikel) und der Aorta. Der Ventrikeldruck des Herzens

bildet den Eingangsdruck der Unterstützungspumpe, der Aortendruck durch die Unterstützungspumpe ist gleichzeitig deren Ausgangsdruck.

Die Druckdifferenz zwischen dem natürlichen Druck des Ventrikels und dem angestrebten Aortendruck ist in der systolischen Phase von der Unterstützungspumpe aufzubringen. In der diastolischen Phase soll lediglich ein Rückfluss vom Blut zur Herzkammer verhindert werden.

Fig. 5 zeigt die sich aus diesen Bedingungen ergebende Förderhöhe der Unterstützungspumpe. Der Sollwert der Förderhöhe entspricht etwa dem halben mittleren Aortendruck. Wird dieser Sollwert unterschritten, setzt die Drehzahlregelung ein, die Pumpe beschleunigt dann ggf. bis zu einer maximalen Drehzahl und fördert das Blut in die Aorta. Steigt die Förderhöhe bei nachlassendem Druck des Ventrikels wieder an, sinkt der Drehzahl-Stellwert und damit die Rotordrehzahl bis zum Erreichen der diastolischen Phase.

Durch Aufschalten des Volumenstroms am Zweig 24, und zwar nur der Negativ-Werte, das heißt einem eventuellen Rückfluss zum Ventrikel, über einen Regelverstärker k auf den Vergleich 23 wird gewährleistet, dass in der diastolischen Phase eine solche Drehzahl aufrecht erhalten wird, dass der Volumenstrom nicht unter null sinkt, sondern auf einem Wert bei null gehalten wird.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die Soll-Förderhöhe außerdem mit einem Korrekturwert beaufschlagt, der sich aus dem Vergleich der aktuellen Rotordrehzahl mit einer maximalen Rotordrehzahl ergibt. Steigt die am Zweig 25 anliegende Rotordrehzahl über eine am Zweig 26 vorgegebene maximale Rotordrehzahl, wird die Abweichung,

über einen Regelverstärker  $k_1$  verstärkt, mit negativem Vorzeichen einem Vergleicher 27 zugeführt, an dem die Sollförderhöhe anliegt. Die auszuregelnde Soll-Ist-Abweichung der Förderhöhe wird bei Erreichen einer Maximal-Rotordrehzahl somit von vornherein begrenzt.

Fig. 7 zeigt dagegen den Verlauf der Förderhöhe und des Volumenstromes und Fig. 8 den Druckverlauf am Ventrikel beim Betrieb einer Pumpe mit konstanter Drehzahl. Es ist erkennbar, dass die Pumpe auch in der diastolischen Phase saugt und die Herzkammer leer pumpt. Es kommt nicht zu der gewünschten Druckentlastung des Herzens.

Mit dem in diesem Ausführungsbeispiel gezeigten Verfahren kann nicht nur auf störende und zusätzlichen Aufwand verursachende Sensorik verzichtet werden, sondern auch ein in einem Fluidfördersystem herrschender pulsatile Volumenstrom unterstützt werden, ohne dass mittels Maßnahmen zur Synchronisation zwischen den beiden Betriebszuständen unterschieden werden muss.

**Bezugszeichenliste**

- 2 Eisenrückschlußkappe
- 2a Eisenrückschlußkappe
- 5 Rotor
- 6 Leiteinrichtung
- 7 Leiteinrichtung
- 12 Steuerspule
- 12a Steuerspule
- 21 Zweig
- 22 Zweig
- 23 Vergleicher
- 24 Zweig
- 25 Zweig
- 26 Zweig
- 27 Vergleicher
- 31 Blechpaket

33 Wicklungen

41 Permanentmagnet

41a Permanentmagnet

42 Permanentmagnet

42a Permanentmagnet

43 Sensorspule

43a Sensorspule

k Regelverstärker

k1 Regelverstärker

80 Kurzschlussring

80a Kurzschlussring

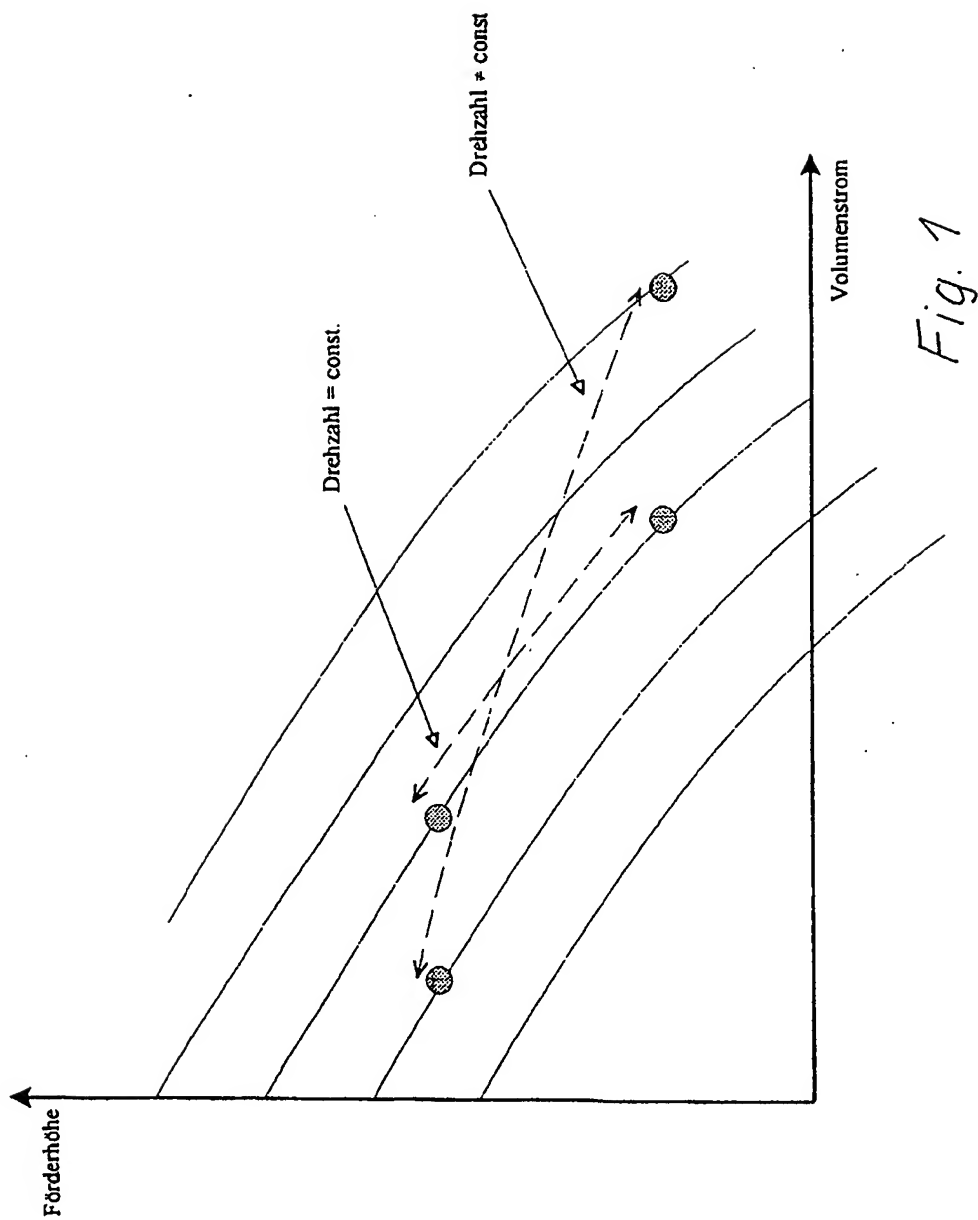
### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Unterstützungspumpe für Fluidfördersysteme mit pulsatilem Druck, dadurch gekennzeichnet, dass  
  
ständig die Druckdifferenz zwischen Ein- und Ausgangsseite der Unterstützungspumpe sowie die Durchflussmenge durch die Unterstützungspumpe ermittelt werden und die Drehzahl der Unterstützungspumpe so geregelt wird, dass die ermittelte Druckdifferenz nicht unter einen vorbestimmbaren Wert fällt und die Durchflussmenge nicht unter null sinkt.
  
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass  
  
als Unterstützungspumpe eine Axialpumpe mit elektronisch kommutiertem Synchronmotor und permanentmagnetischer Lagerung und Steuerspulen zur magnetischen Lageregelung des Rotors benutzt wird und die Druckdifferenz zwischen Ein- und Ausgangsseite der Unterstützungspumpe ermittelt wird, indem aus dem Steuerstrom der Steuerspulen und der aktuellen Rotorposition, die als Werte der Lageregelung vorliegen, die der Druckdifferenz proportionale Störkraft auf den Rotor bestimmt wird.



3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Durchflussmenge durch die Unterstützungspumpe anhand der aktuellen Drehzahl und der Druckdifferenz aus dem zuvor gemessenen Differenzdruck/Volumenstrom-Kennfeld der Unterstützungspumpe ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Drehzahl der Unterstützungspumpe auf einen vorbestimmbaren Maximalwert begrenzt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
zur Regelung der Drehzahl ein PID-Regler verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
dem Druckdifferenz-Sollwert ein aus einem Vergleich aus der Rotordrehzahl und einem vorbestimmbaren Maximalwert der Rotordrehzahl ermittelter Korrekturwert aufgeschaltet wird.

1/5



2/5

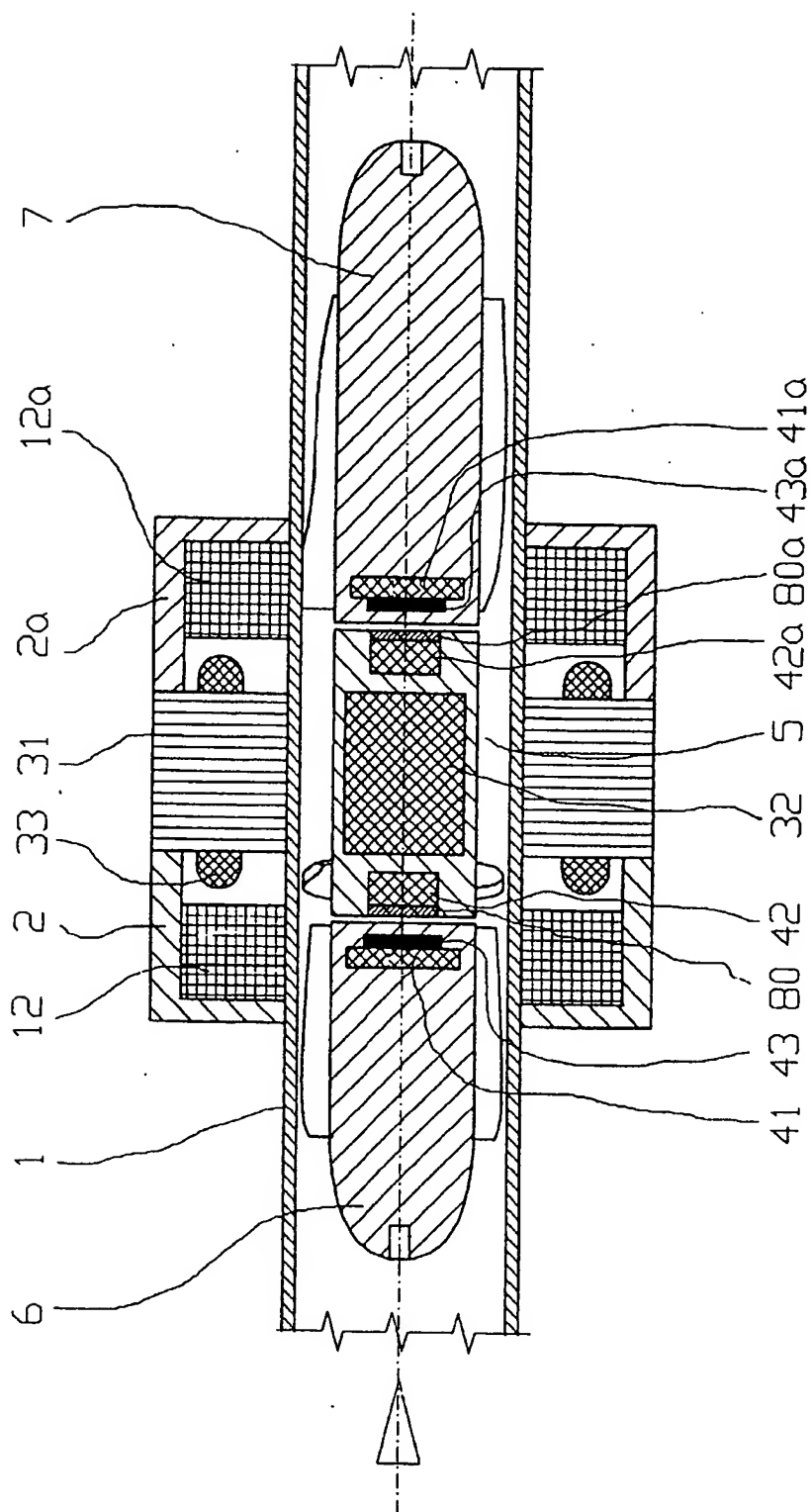
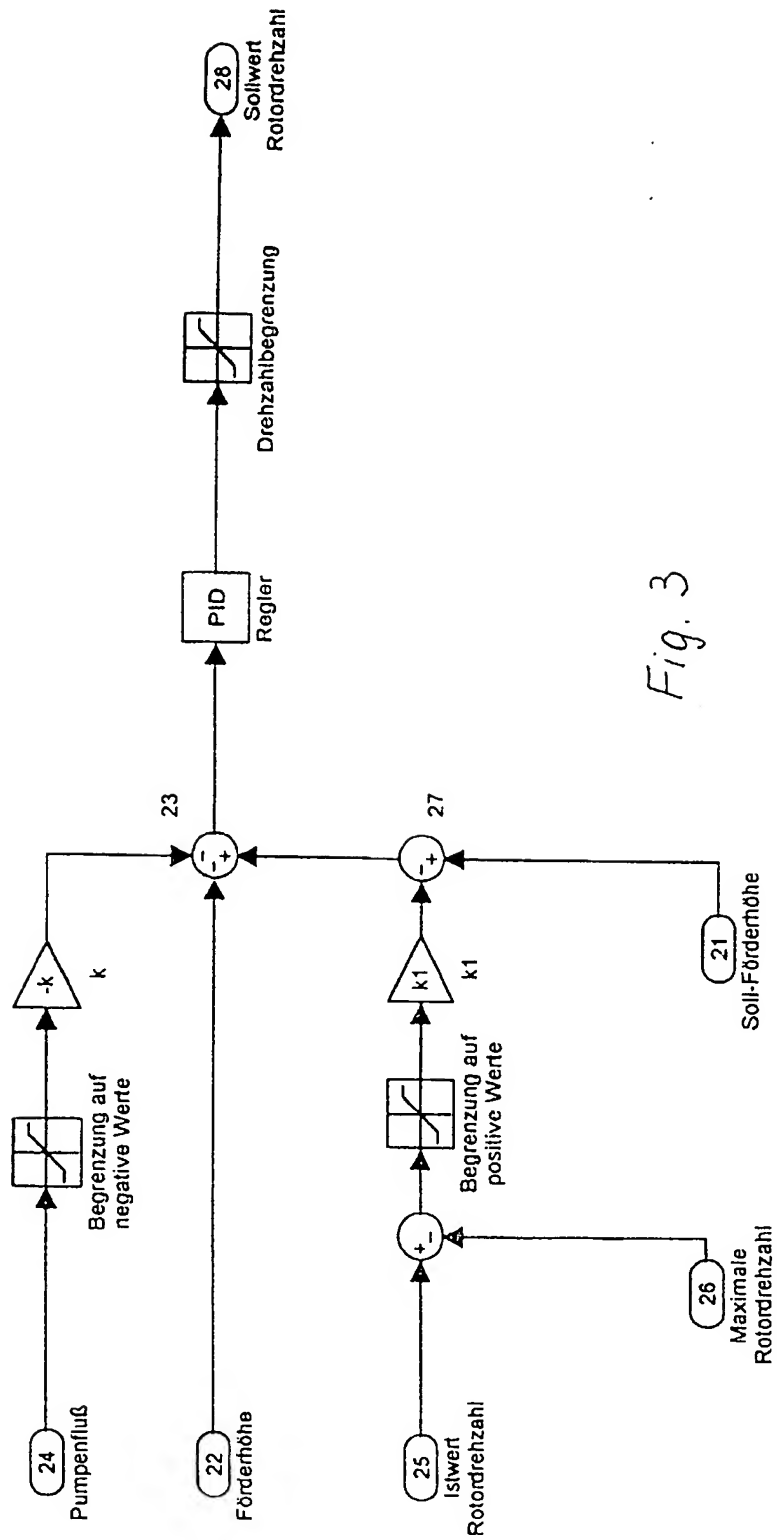
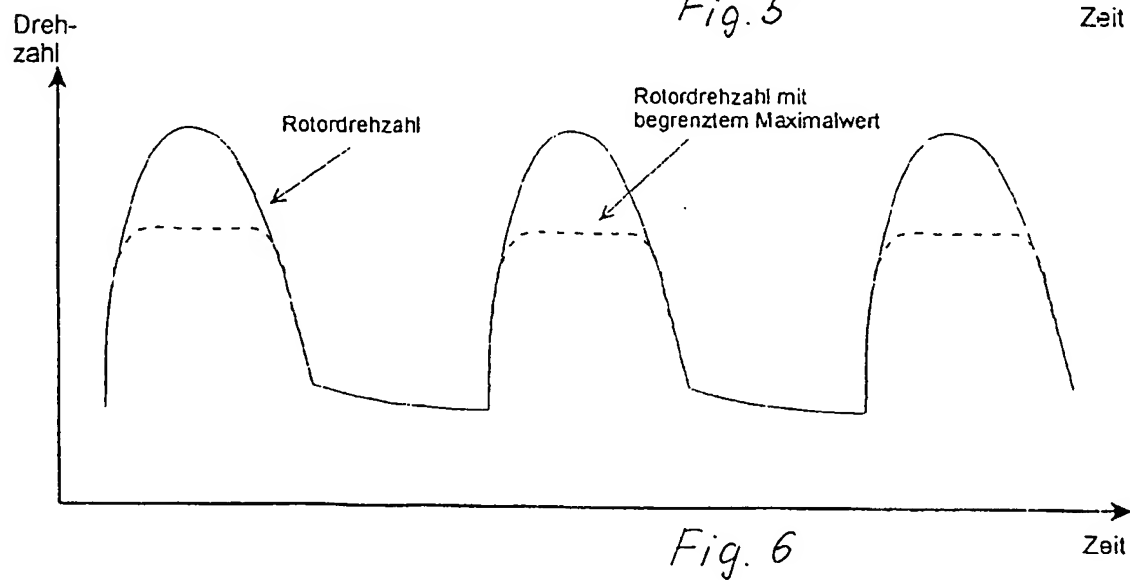
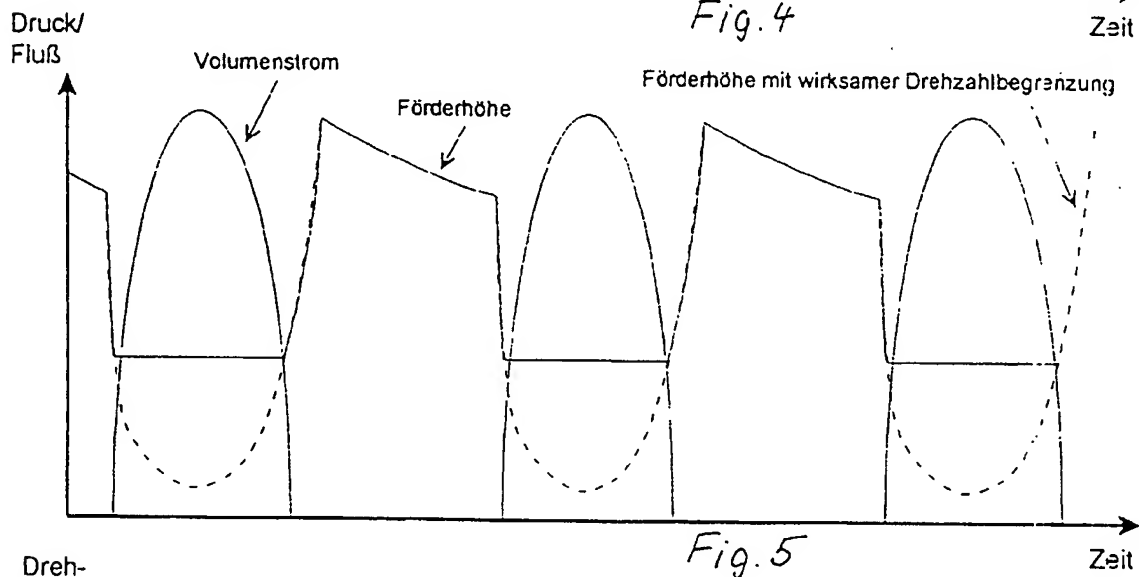
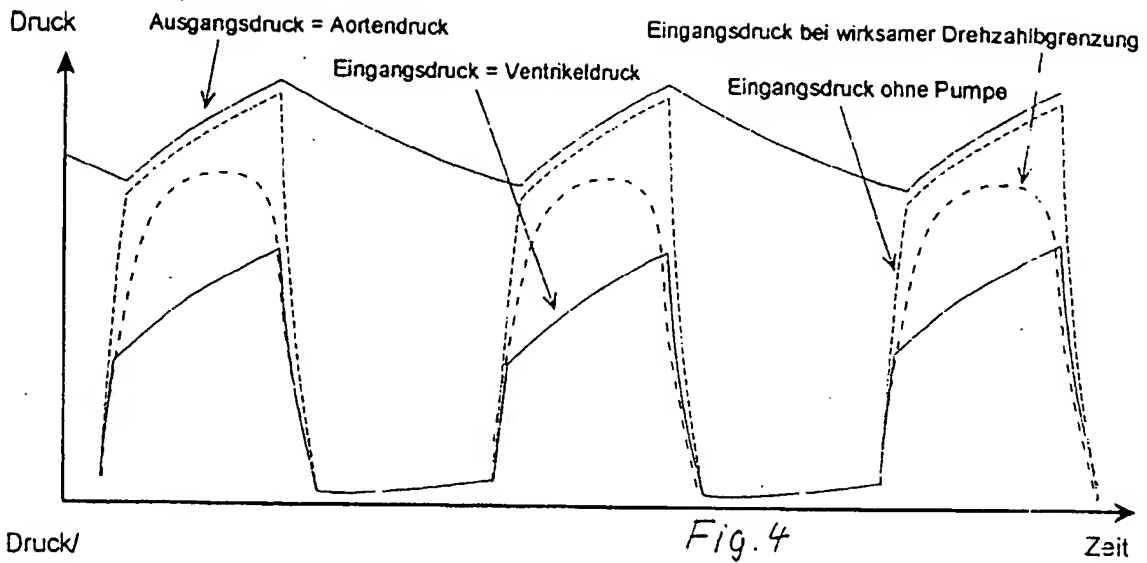


Fig. 2

3/5



4/5



5/5

